

이미지 세그멘테이션 모델을 활용한 실시간 전기차 모터-감속기 고장 진단법

박병준, 한동석*

경북대학교 대학원 전자전기공학부

qudwns7171@knu.ac.kr, *dshan@knu.ac.kr

Real-Time Fault Diagnosis of Electric Vehicle Motor-Reducer Using Image Segmentation Models

Byeong Jun Park, Dong Seog Han*

School of Electronic and Electrical Engineering, Kyungpook National Univ.

요 약

전기차에서 모터-감속기의 결함은 탑승자 및 보행자의 안전에 직결되는 중요한 요소다. 또한, 전기차 보급의 확대와 자율주행 기술의 발전으로 인한 운전자의 부재로 인해 차량이 자체적으로 결함들을 감지하고 대응할 필요성이 더욱 대두되고 있다. 한편, CNN(Convolutional Neural Network)의 등장과 다양한 파생 모델의 눈부신 발전으로 기계 결함 진단 시스템에 CNN의 장점을 활용하려는 많은 연구가 진행되어왔다. 하지만 결함 감지 센서 데이터에 대한 즉각적인 처리와 응답이 요구되어지는 차량 시스템에서는 많은 계산적 비용이 뒤따르는 고차원 이미지 처리 과정이 매력적으로 다가오지 않았다. 본 논문은 스마트 차량 또는 전기차에 쓰이는 모터 및 감속기의 기능적 결함을 실시간으로 진단하는 효율적인 시맨틱 세그멘테이션 모델을 고안한다. 이 연구를 통해 실제 주행 환경에서 차량 사고를 효과적이고 다차원적으로 예방할 수 있으리라 기대한다.

Keyword: Fault Diagnosis, Motor Malfunction, Image Segmentation, Convolutional Neural Network, Electric Vehicle

I. 서론

자율주행, 커넥티드 카, 차량용 인포테인먼트 등 새로운 차세대 기술이 급속히 발전함에 따라 전기차의 수요가 증가하면서 차량 내 모터와 감속기의 결함 감지와 대응이 중요한 과제로 떠오르고 있다. 이러한 결함은 차량 운행 중에 예기치 않은 상황을 일으킬 수 있으며, 이로 인해 승객과 보행자의 안전에 직접적인 위협이 초래될 수 있다. 이러한 상황에서 결함을 신속하게 감지하고 적절히 대응하는 것은 차세대 차량의 안전성과 신뢰성을 높이는 데 큰 영향을 미친다.

딥러닝의 발전으로 합성곱 신경망(convolutional neural network, CNN)을 기반으로 한 다양한 모델이 등장하면서 결함 진단 시스템에 대한 접근 방식이 혁신적으로 변화하고 있다[1]. 이를 통해 보다 정확하고 신속한 결함 진단이 가능해졌다. 하지만 기존의 결함 진단 시스템은 주로 외부적인 결함을 감지하거나, 상대적으로 적은 양의 데이터를 처리하는 데에만 초점을 맞추고 있었다. 한편, 시계열 신호를 시계열-주파수 이미지로 변환한 스펙트로그램(spectrogram)을 CNN에 적용하려는 시도도 있었으며[2], 이는 결함 검출의 정확도를 눈에 띄게 향상시켰다. 그러나 차량 시스템에서는 결함 감지 센서 데이터에 대한 즉각적인 처리와 응답이 요구되어지는 상황에서, 높은 계산적 비용을 필요로 하는 고차원 이미지 처리 과정이 매력적으로 다가오지 않는다. 이러한 제약으로 인해

CNN을 활용한 결함 진단 시스템의 적용이 제한되고 있다.

본 논문은 이러한 제약을 극복하기 위해, 스마트 차량이나 전기차에 사용되는 모터와 감속기의 기능적 결함을 실시간으로 진단하는 지능형 시맨틱 세그멘테이션 모델을 제안한다. 이 모델은 각 부품으로부터 수집된 전류 및 진동 신호를 딥러닝 모델을 통해 처리하여 모터와 감속기의 결함 주파수 대역폭을 동시에 감지하고 결함 유형을 분류할 수 있다.

II. 본론

모터 및 감속기로부터 검출된 신호를 수집하고, 이를 스펙트로그램으로 변환한다. 스펙트로그램은 주파수와 시간에 따른 신호를 시각화한 그래프로, 신호의 주파수 성분을 파악할 수 있다.

DeepLabV3+ [3] 모델은 이미지 세그멘테이션을 위해 설계된 딥러닝 아키텍처이다. 일반적으로 이미지를 입력으로 받아들이고, 각 픽셀을 특정 클래스에 할당하여 이미지를 분할한다. 본 논문은 이미지 형식으로 변환된 1280x2000 크기의 스펙트로그램이 해당 모델의 입력으로 제공된다.

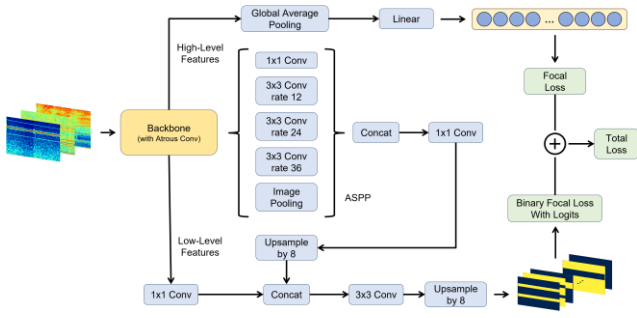


그림 1. 모터- 감속기 결함 진단 모델 구조

그림 1 은 본 논문에서 제안하는 모터-감속기 결함 진단 모델 구조를 도식화한 것이다. Backbone 으로 수정된 ResNet[4]을 사용하였다. 모델에 각 센서로부터 변환된 스펙트로그램 이미지가 동시에 입력되면, 인코더에서 이를 주파수 영역에서 패턴을 인식한다. 이때, 결함 여부 및 종류를 분류하기 위해 모델은 인코더의 결과를 분류기에 따로 통과시킨다. 이제 인코더의 결과가 디코더에 입력되어 각 주파수 영역이 어떤 결함 클래스에 속하는지 예측한다. 이를 통해 모터 및 감속기에서 발생한 결함 주파수 대역을 파악할 수 있다[5].

학습을 위한 데이터셋은 ‘자율주행 고장진단 데이터’로, 이미지는 모터-감속기에 부착된 전류 및 진동 센서로부터 검출된 각 신호가 10 초 단위로 STFT(short-time Fourier transform) 처리된 스펙트로그램이며, 레이블은 정상, 편심 10, 편심 20, 감자, 기어 결함으로 이루어진다.

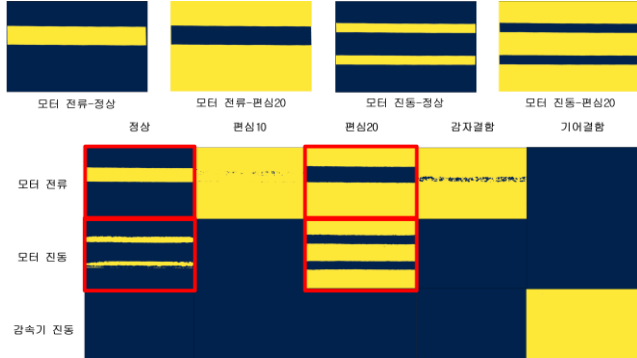


그림 2. 시맨틱 세그멘테이션 결과 예시. 정답 레이블(상단)과 센서별 모델이 예측한 레이블(하단).

분류 정확도(%)				
99.63				
mIoUs(%)				
정상	편심 10	편심 20	감자결함	기어결함
99.63	93.36	91.05	95.73	98.24

표 1. 모터-감속기 결함 진단 성능

그림 2 는 편심(20) 결함이 발생하였을 때의 시맨틱 세그멘테이션 결과를 시각화한 것이다. 제안한 모델이 모터 전류 및 진동 센서의 편심 20 에 대응하는 각 채널에서 결함 주파수 대역폭을 상당히 정확하게 검출하고 있음을 보여준다. 표 1 은 모터-감속기 결함 진단 결과에 대한 성능 지표를 나타낸다. 결함 분류

정확도 및 진단한 결함 주파수 대역의 mIoU 가 매우 높으므로 모터-감속기 결함 진단 모델의 우수한 성능이 검증됨을 알 수 있다.

III. 결론

본 논문에서 제안한 딥러닝 모델로 고해상도의 스펙트로그램을 효과적으로 처리하여 전기차 내 모터-감속기 결함을 진단하고 정확한 주파수 분석을 이끌어 낼 수 있음을 확인했다. 이 모델 결과에 필요에 따라 경고 또는 조치를 취할 수 있는 기능을 추가하는 등의 활용이 된다면 전기차 시스템의 안전성과 신뢰성을 더욱 향상시킬 수 있을 것이다. 이 연구를 통해 실제 주행 환경에서 차량 사고를 효과적이고 다차원적으로 예방할 수 있으리라 기대한다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 산업통상자원부와 한국산업기술진흥원의 지역혁신클러스터육성 (R&D, P0025274) 사업의 지원을 받아 수행된 연구결과임.

이 연구는 과학기술정보통신부의 재원으로

한국지능정보사회진흥원의 지원을 받아 구축된 "자율주행 고장진단 데이터"를 활용하여 수행된 연구입니다. 본 연구에 활용된 데이터는 AI 허브(ahub.or.kr)에서 다운로드 받으실 수 있습니다.

참 고 문 헌

- [1] Wen, Long, et al. "A new convolutional neural network-based data-driven fault diagnosis method." IEEE Transactions on Industrial Electronics 65.7 (2017): 5990-5998.
- [2] Chen, Qian, et al. "TFN: An interpretable neural network with time-frequency transform embedded for intelligent fault diagnosis." Mechanical Systems and Signal Processing 207 (2024): 110952.
- [3] Chen, Liang-Chieh, et al. "Encoder-decoder with atrous separable convolution for semantic image segmentation." Proceedings of the European conference on computer vision (ECCV). 2018.
- [4] He, Kaiming, et al. "Deep residual learning for image recognition." Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition. 2016.
- [5] Lin, Fu, Shuguang Zuo, and Wenzhe Deng. "Impact of rotor eccentricity on electromagnetic vibration and noise of permanent magnet synchronous motor." Journal of Vibroengineering 20.2 (2018): 923-935.